



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**MOSTNÍ KONSTRUKCE PODPOROVANÁ KABELY**

CABLE-SUPPORTED BRIDGE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Filip Adler**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.**

**BRNO 2017**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
PRACOVNÍŠTĚ	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	<b>Bc. Filip Adler</b>
NÁZEV	<b>Mostní konstrukce podporovaná kabely</b>
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	<b>Ing. Radim Nečas, Ph.D.</b>
DATUM ZADÁNÍ	<b>31. 3. 2016</b>
DATUM ODEVZDÁNÍ	<b>13. 1. 2017</b>

V Brně dne 31. 3. 2016

.....  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry.

Základní normy:

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Pro zadaný problém navrhnete dvě až tři varianty řešení a zhodnotíte je.

Ve výběru varianty se zaměříte na mostní konstrukci podporovanou lany.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu proveďte podle mezních stavů včetně zohlednění vlivu výstavby mostu na jeho návrh.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení

P2. Výkresy (přehledné, podrobné a detaily v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Stavební postup a vizualizace

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

**VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:**

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

**Ing. Radim Nečas, Ph.D.**

Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Predmetom diplomovej práce je návrh lávky pre chodcov podporovanej káblami. Pre zadaný problém boli vytvorené tri varianty štúdie a následne pre najvhodnejší variant bola spracovaná podrobnejšia dokumentácia. Hlavnou náplňou tejto práce je statické riešenie nosnej konštrukcie s výstupom v podobe výkresovej dokumentácie. Model konštrukcie pre výpočet účinkov vybraných zaťažení zahŕňa i vplyv fázovanej výstavby diela a bol vytvorený vo výpočtovom prostredí programu Midas Civil. Posúdenie a dimenzovanie bolo riešené ručným výpočtom, doplnené o niektoré posudky rezov programom IDEA StatiCa. Všetky tieto výpočty sa riadia v súčasnosti platnými normami a zásadami výpočtu podľa medzných stavov.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

lávka pre chodcov, visutá konštrukcia, segment, betón, predpätie, fáze výstavby, počiatkový stav, závesy, statická a dynamická analýza

## **ABSTRACT**

The subject of this master thesis is to design a pedestrian bridge supported by cables. There are three variants of studies created for this case and for most suitable one, all documentations were produced. The primary focus of this work is on static design solution with an output of several drawings. Static model for results from load cases included construction stages and was created in Midas Civil. Design and checks were performed by hand calculations, complemented by checks of several sections by IDEA StatiCa software. Analysis and calculations are compliant to up-to-date codes and respect the fundamentals of analysis due to limit states.

## **KEYWORDS**

pedestrian bridge, suspension structure, segment, concrete, prestressing, construction stages, initial state, hangers, static and dynamic analysis

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Filip Adler *Mostní konstrukce podporovaná kabely*. Brno, 2016. 24 s., 192 s. příl.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2017

---

Bc. Filip Adler  
autor práce

# **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP**

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 1. 2017

---

Bc. Filip Adler  
autor práce

## POĎAKOVANIE

Rád by som na tomto mieste poďakoval svojmu vedúcemu práce Ing. Radimovi Nečasovi, Ph.D. za jeho usmernenia, pripomienky a rady, ktoré mi pri tejto téme dal. V ďalšom rade by som rád poďakoval tímu kolegov IDEA StatiCa, že mi umožnili pracovať v prostredí programov Midas Civil a IDEA StatiCa ako i za ich podporu. V neposlednom rade by som rád poďakoval svojej rodine, ktorá ma podporovala po celý čas a Bc. Lucke Luberovej takisto za podporu.



# **OBSAH**

1.	ÚVOD .....	10
2.	VARIANTY RIEŠENIA .....	10
	VARIANT A – VISUTÁ LÁVKA .....	10
	VARIANT B – ZAVESENÁ LÁVKA .....	12
	VARIANT C – OBLÚKOVÁ LÁVKA .....	13
3.	VISUTÁ LÁVKA PRE CHODCOV .....	15
4.	MATERIÁLY NOSNÝCH PRVKOV .....	15
	VISUTÉ A PREDPÍNACIE LANÁ .....	15
	ZÁVESY .....	16
	MOSTOVKA .....	16
	PYLÓNY .....	16
	BETONÁRSKA VÝSTUŽ .....	16
5.	ZAŤAŽENIE .....	16
	ZAŤAŽENIE V POZDĹŽNOM SMERE .....	16
6.	VÝPOČTOVÝ MODEL V POZDĹŽNOM SMERE .....	17
	GEOMETRIA .....	18
	OKRAJOVÉ PODMIENKY .....	19
	NELINEÁRNY VÝPOČET .....	20
	LINEÁRNY VÝPOČET .....	20
7.	POSÚDENIE KONŠTRUKCIE .....	21
	MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI .....	21
	MEDZNÝ STAV POUŽÍVATEĽNOSTI .....	21
8.	VÝPOČTOVÝ MODEL V PRIEČNOM SMERE .....	22
9.	POSÚDENIE V PRIEČNOM SMERE .....	22
10.	DYNAMICKÁ ANALÝZA KONŠTRUKCIE .....	22
11.	ZÁVER .....	23
12.	ZDROJE .....	24

## 1. ÚVOD

Prvá požiadavka diplomovej práce stanovila vypracovať 3 varianty lávok pre chodcov k premosteniu vodného toku. Tieto varianty sú detailnejšie popísané v nasledujúcej kapitole.

Podrobný návrh jednotlivých prvkov nosnej konštrukcie bol spracovaný podľa metódy medzných stavov, so zahrnutím fázovanej výstavby lávky. Pre výpočet statických a dynamických účinkov zaťaženia na nosnú konštrukciu bol použitý program Midas Civil. K vybranej variante bol spracovaný statický výpočet, prehľadné výkresy, výkresy tvaru, výkresy predpínacej a betonárskej výstuže ako aj vybraných konštrukčných detailov na lávke. Súčasťou práce je aj schéma postupu výstavby a pre lepšiu názornosť bol spracovaná i vizualizácia diela.

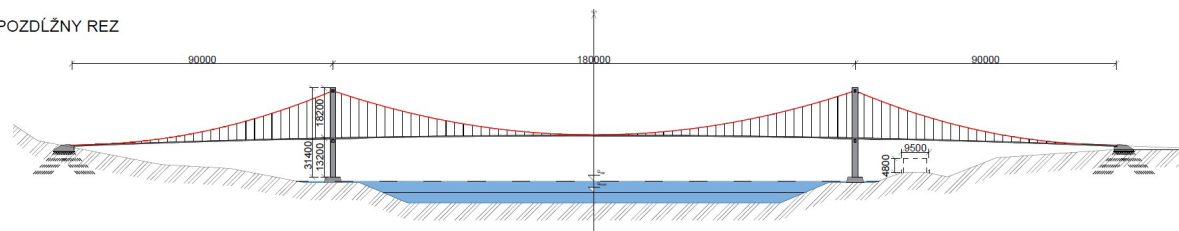
## 2. VARIANTY RIEŠENIA

Varianty riešenia vychádzajú z požiadavky na premostenie cca 360m terénu ponad vodný tok a súčasnú pozemnú komunikáciu kategórie S9,5. Taktiež bolo potrebné splniť požiadavky na bezbariérovosť lávky pre ľudí s obmedzenou schopnosťou pohybu, kde bolo rozhodnuté o maximálnom pozdĺžnom sklone na hodnote 4% (<8% limit). Z dôvodov jednoduchosti lávky a jej výstavby bolo zámerom posúvať základy konštrukcie mimo koryto premostovaného vodného toku.

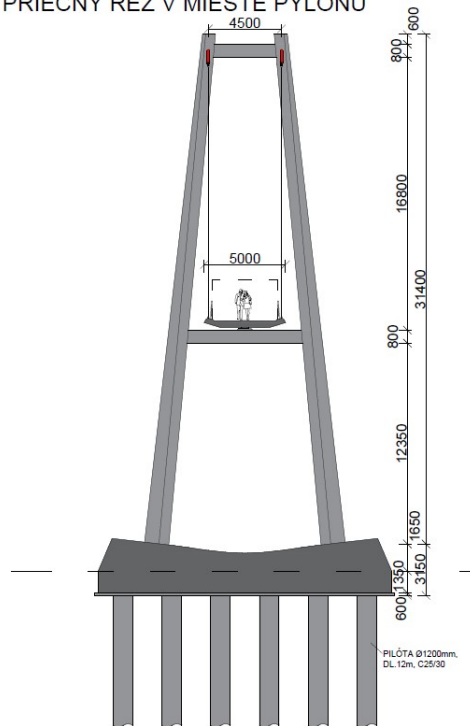
### VARIANT A – VISUTÁ LÁVKA

Variant visutej lávky počíta s premostením maximálneho rozpätia 360m pomocou troch polí o dĺžkach 90, 180 a 90m. Závesy vynášajúce mostovku na visuté laná sú navrhnuté po 3m. Mostovka je podoprená na operách a na priečnikoch pylónov pomocou dvojíc jednosmerných elastomerových ložísk. Mostovka pozostáva z prefabrikovaných segmentov dĺžky 3 metre, ktoré sú počas fáz výstavby kĺbovo spojené a následne zmonolitnené dobetonávkou. V oblasti pylónov sú použité segmenty vyššieho prierezu a medzi segmentami poľa a týmito podporovými segmentami je vytvorený prechodový nábehovaný segment. Pylón pripomína tvarom písmeno A a zhruba v polovici je vytvorený priečnik. Na koncoch lávky sú visuté laná zakotvené do kotevných blokov.

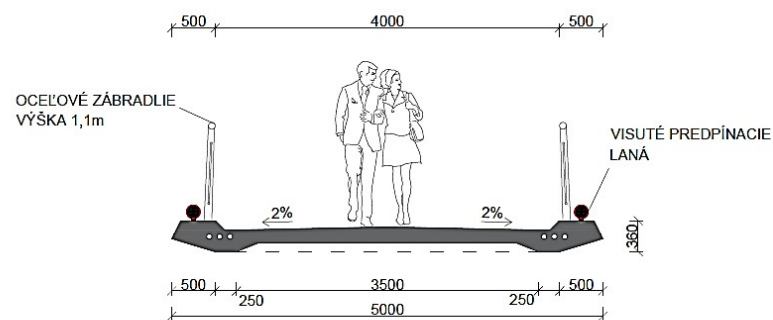
POZDĹŽNY REZ



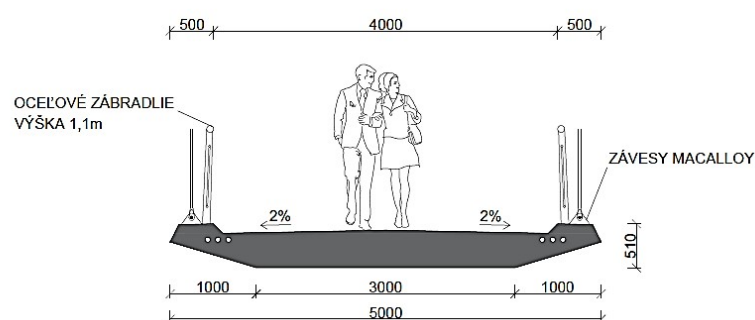
PRIEČNY REZ V MIESTE PYLÓNU



PRIEČNY REZ - SEGMENT V POLI

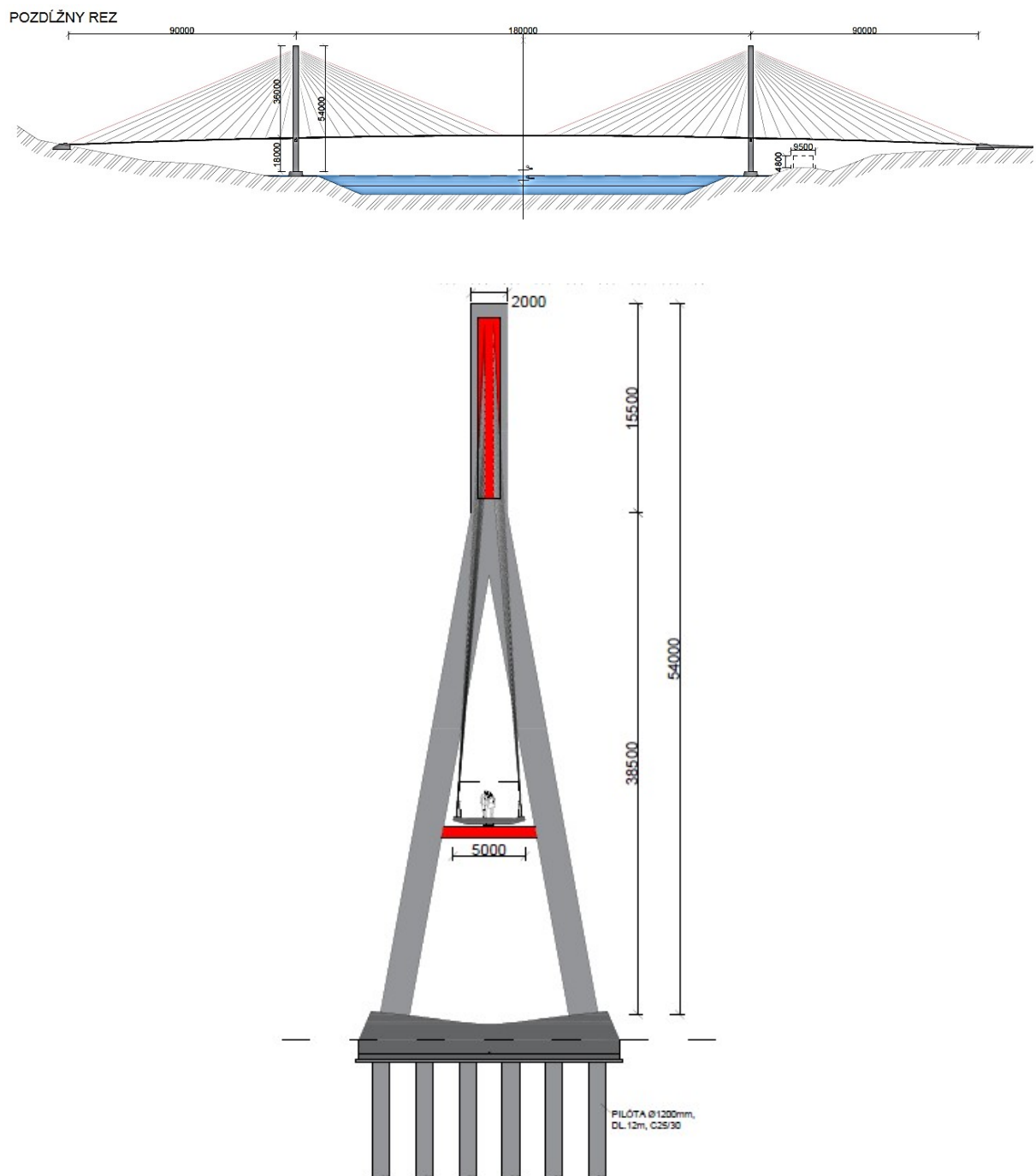


PRIEČNY REZ - SEGMENT NAD PODPOROU

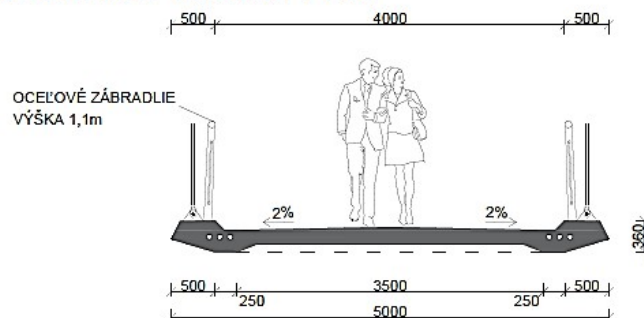


## VARIANT B – ZAVESENÁ LÁVKA

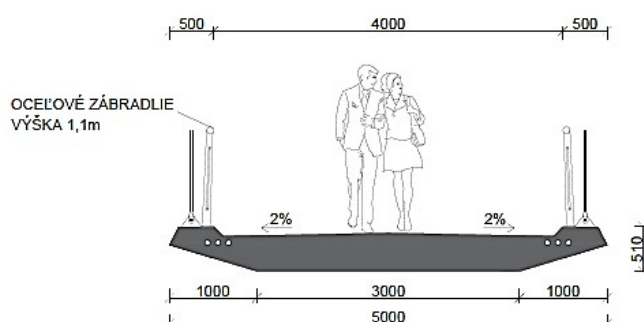
Druhý variant je navrhnutý ako zavesená lávka s obdobným riešením, ako predošlý variant. Líši sa výškou a tvarom pylónu, geometriou a spôsobom pôsobenia lán. Zavesené laná sú v usporiadaní tzv. modifikovaného vejára, ktorý tvorí akýsi kompromis medzi harfovým a vejárovitým usporiadaním. Pylón je postavený v tvare A, zhruba od dvoch tretín výšky je tvorení jedinou stojkou, do ktorej sú zakotvené jednotlivé laná. Tento variant je navrhnutý ako samokotvená konštrukcia a tvorí efektívnu a elegantnú voľbu premostenia terénu.



### PRIEČNY REZ - SEGMENT V POLI



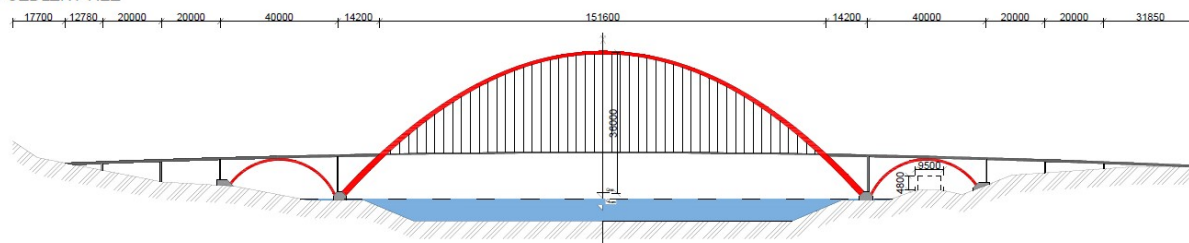
### PRIEČNY REZ - SEGMENT NAD PODPOROU

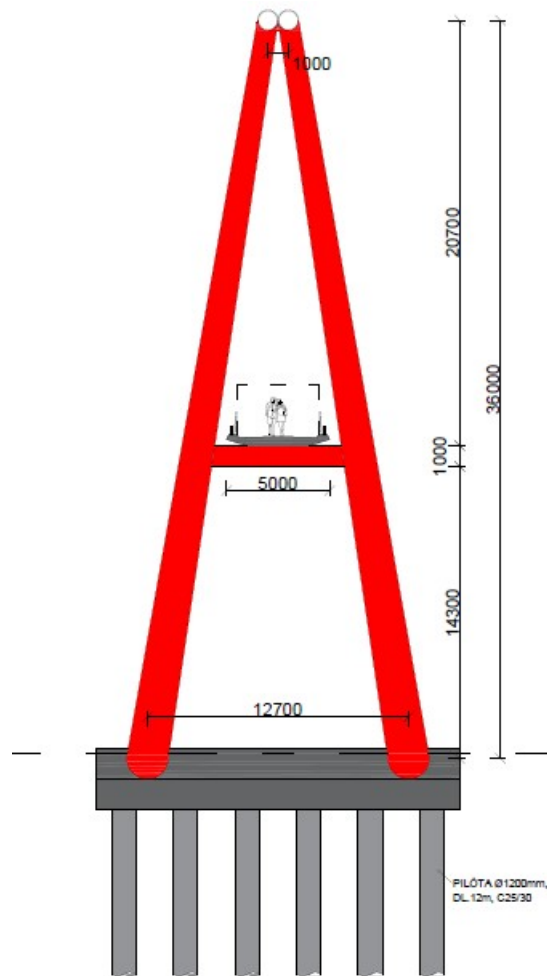


## VARIANT C – OBLÚKOVÁ LÁVKA

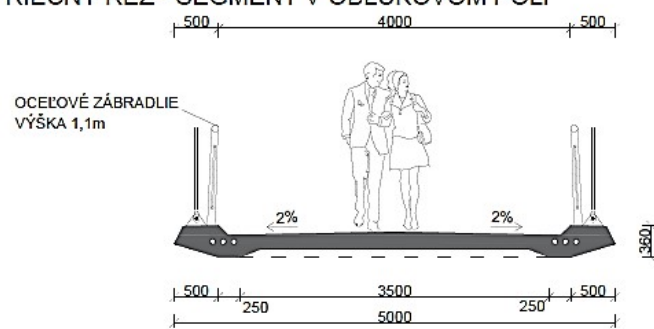
Posledný variant spočíva v návrhu oblúkovej integrovanej lávky s následnými spojitými poľami. Rovnako sú závesy rozmiestnené 3m od seba a vynášajú mostovku na oceľový oblúk s premenlivým prierezom spojeným vo vrchole oblúka s druhou trúbkou oblúka. Následné rampy plynule nadväzujú na mostovku s väčším prierezom a sledujú celkovú geometriu premostenia predošlých dvoch variant. Pre nutnosť premostenia pozemnej komunikácie na pravom brehu vodného toku, bol zvolený variant, kde sú polia priľahlé k oblúkovému poľu vynesené na oblúkoch pod mostovkou.

### POZDĹŽNY REZ

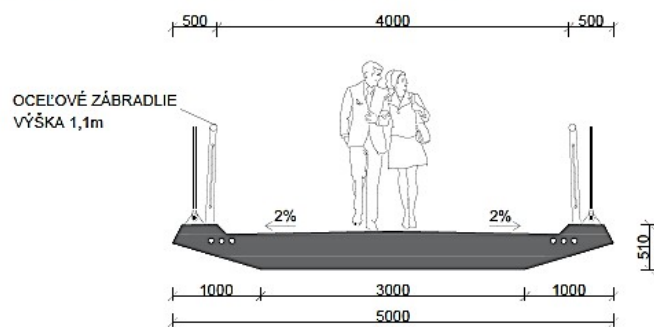




#### PRIEČNY REZ - SEGMENT V OBLÚKOVOM POLI



#### PRIEČNY REZ - SEGMENT MIMO OBLÚKOVÉ POLE



## VÝBER NAJVÝHODNEJŠIEHO VARIANTU

Pri výbere najvýhodnejšieho variantu boli zohľadnené hlavne ekonomické aspekty budúceho diela. Ako elegantná a veľmi ekonomická konštrukcia najmenej narúšajúca okolie sa javí variant A. Pre jeho výber hovorí i fakt, že výstavby bude vďaka prefabrikovaným segmentom rýchla a obmedzí sa väčšina mokrých procesov na stavenisku. Bola teda pre ňu spracovaná celá výkresová dokumentácia a statický výpočet vrátane posudku na dynamické účinky.

## 3. VISUTÁ LÁVKA PRE CHODCOV

Po výbere najvýhodnejšej varianty premostenia, môžeme vychádzať z jej štúdie. Pre potreby analýzy modelu tejto konštrukcie bolo potrebné zvoliť vhodné softvérové vybavenie. Vhodný softvér by mal byť schopný analyzovať 3D-prútové konštrukcie vrátane fáz výstavby, nelineárneho výpočtu a poskytovať jednoduchú zmenu konfigurácie prvkov v prípade nevyhovujúcich posudkov. Týmto požiadavkám vyhovoval program Midas Civil. Pre posudky niektorých častí konštrukcie bol použitý softvér IDEA StatiCa, hlavne jej modul RCS.

Po zložitom procese návrhu, zmien a úprav modelu konštrukcie, boli navrhnuté prvky posúdené statickým výpočtom podľa zásad metódy medzných stavov. V ďalšom kroku bolo potrebné vytvoriť model priečneho smeru, ktorý bol podľa rovnakých zásad posúdený. Po týchto krokoch a vyhovujúcich posudkoch bolo možné zaniest celú konštrukciu a jej detaily do výkresovej dokumentácie.

## 4. MATERIÁLY NOSNÝCH PRVKOV

### VISUTÉ A PREDPÍNACIE LANÁ

Visuté a predpínacie laná boli navrhnuté z káblov Y1860-S7-15,7. Ich charakteristická medza klzu je na hodnote  $f_{pk}=1860\text{MPa}$ , zmluvná medza klzu dosahuje hodnotu  $f_{p0,1k}=1600\text{MPa}$ . Prierezová plocha jedného lana  $A_{p1}=150\text{mm}^2$ . Youngov modul pružnosti dosahuje hodnotu  $E_p=195\text{GPa}$ .

## ZÁVESY

Pre závesy bol zvolený systém firmy MacAlloy, konkrétne jeho závesné tyčové prvky rady 520S s označením M30. Jeho priemer je 30mm, charakteristická medza klzu na hodnote 520MPa a modul pružnosti  $E_p=205\text{GPa}$ .

## MOSTOVKA

Segmenty mostovky sú z betónu triedy C50/60. Betón tejto pevnosti bol vybraný na základe vyšších nárokov na napätia vznikajúce od zaťaženia davom chodcov.

Charakteristická valcová pevnosť tejto triedy má hodnotu  $f_{ck}=50\text{MPa}$ , modul pružnosti  $E_{cm}=37\text{GPa}$ .

## PYLÓNY

Pre pylóny bol použitý rovnako betón C50/60 a to jedna z dôvodu pevnosti ale i z dôvodu ochrany voči okolitému prostrediu. Táto trieda bezpečne splňuje nároky na indikačnú triedu betónu.

## BETONÁRSKA VÝSTUŽ

Betonárska výstuž v mostovke a pylóne je triedy B550B s charakteristickou medzou klzu  $f_{yk}=550\text{MPa}$  a modulom pružnosti  $E_s=210\text{MPa}$ .

## 5. ZAŤAŽENIE

Konštrukcia bola navrhovaná a posudzovaná na vybrané zaťažovacie stavy. Boli uvažované stále zaťaženia (vlastná tiaž, zábradlia), predpätie, zaťaženie niekoľkými variantami davom chodcov, z klimatických zaťažení bol pre výpočet uvažovaný vplyv vetra a teploty.

### ZAŤAŽENIE V POZDĹŽNOM SMERE

ZS0 – Vlastná tiaž

ZS1 – Ostatné stále



ZS2 – Predpätie

ZS3 – ZS7 – Zaťaženie davom chodcov

podľa vzorca  $q_{fk}=2+120/(L+30)$  [kN/m<sup>2</sup>]

šírka lávky medzi zábradliami 4m

ZS8 – Zaťaženie teplotou - oteplenie

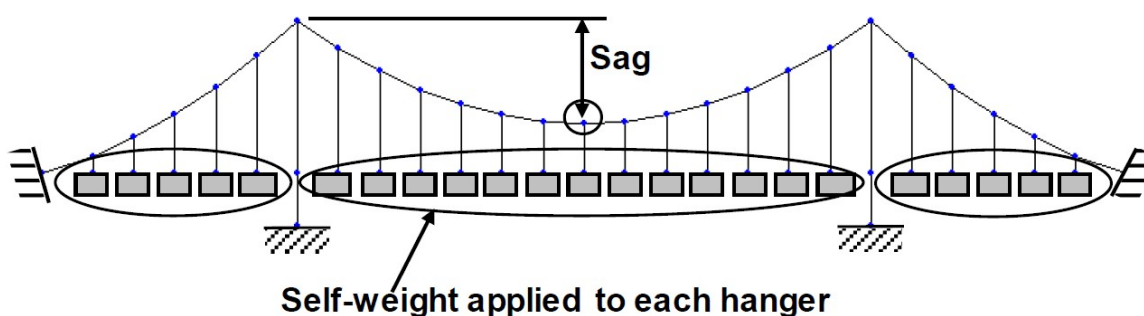
ZS9 – Zaťaženie teplotou - ochladenie

ZS10 – Zaťaženie vetrom

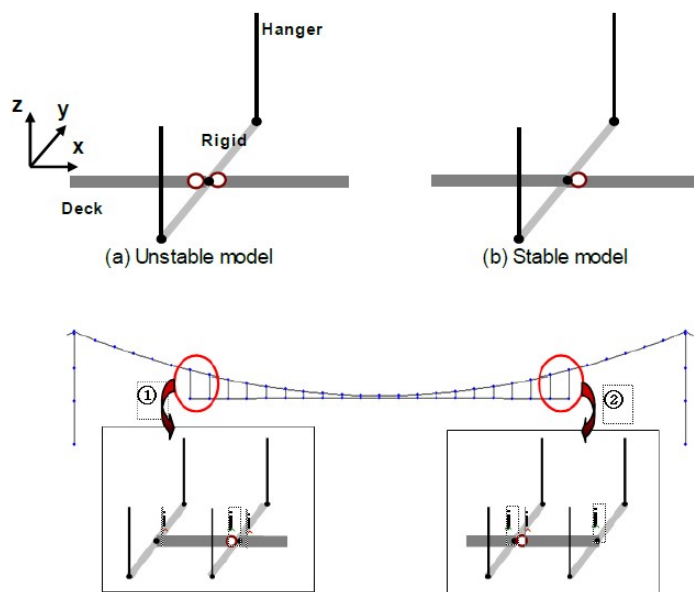
Poznámka: *Pre tento model lávky nie je uvažovaný zatažovací stav obslužného vozidla, keďže uvažujem zamedzenie vjazdu akéhokoľvek vozidla pomocou ocelových stĺpikov v nadväzujúcich miestach komunikácie.*

## 6. VÝPOČTOVÝ MODEL V POZDĹŽNOM SMERE

Tvorba výpočtového modelu prebiehala v prostredí programu Midas Civil vo verzii 2016 v2.3 . Software umožňuje jednoduché zadanie a úpravu geometrie po krivkách, delenia prvkov, spätnú analýzu východzieho stavu ako aj priradzovanie prvkov, uzlov a okrajových podmienok do jednotlivých skupín. Každý element má priradený typ prvku, materiálové a prierezové charakteristiky. Prvky pylónov sú vymodelované pomocou nábehovaného prierezu prvku cez viacero elementov tzv. „tapered group“. Pre vystihnutie klbového spojenia počas montážneho stavu medzi jednotlivými segmentmi bola použitá funkcia „beam end release“.



Pre stabilitu výpočtu a predchádzaniu singularitám boli kĺby vymodelované podľa nasledujúcej schémy.

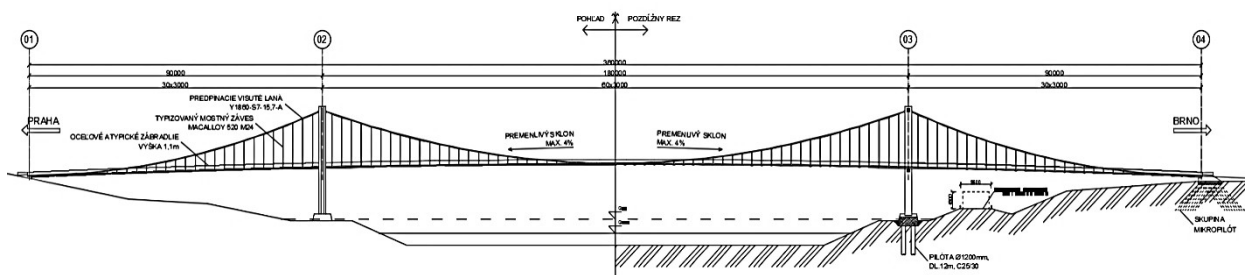


Tieto uvoľňujúce väzby sú odstránené pre fázu výstavby zmonolitnenia mostovky a následných fázach.

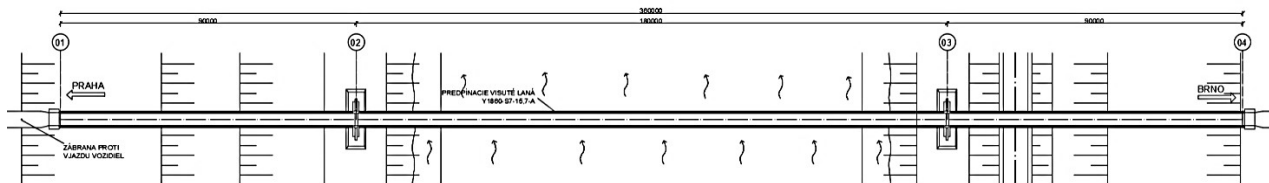
V prvej fáze modelovania bola zadaná požadovaná geometria vrátane prierezových a materiálových charakteristík. Mostovka a pylóny pozostávali z betónových nosníkových prvkov znášajúcich všetky stupne voľnosti. Kable sú modelované ako oceľové, sú schopné prenášať iba ťah (v tlaku a ohybe nepôsobia). Pre vytvorenie spojenia medzi uzlami mostovky a závesmi boli použité tuhé ramená. Jednotlivé materiálové a prierezové charakteristiky sú zhrnuté na začiatku prílohy „**Statický výpočet**“.

## GEOMETRIA

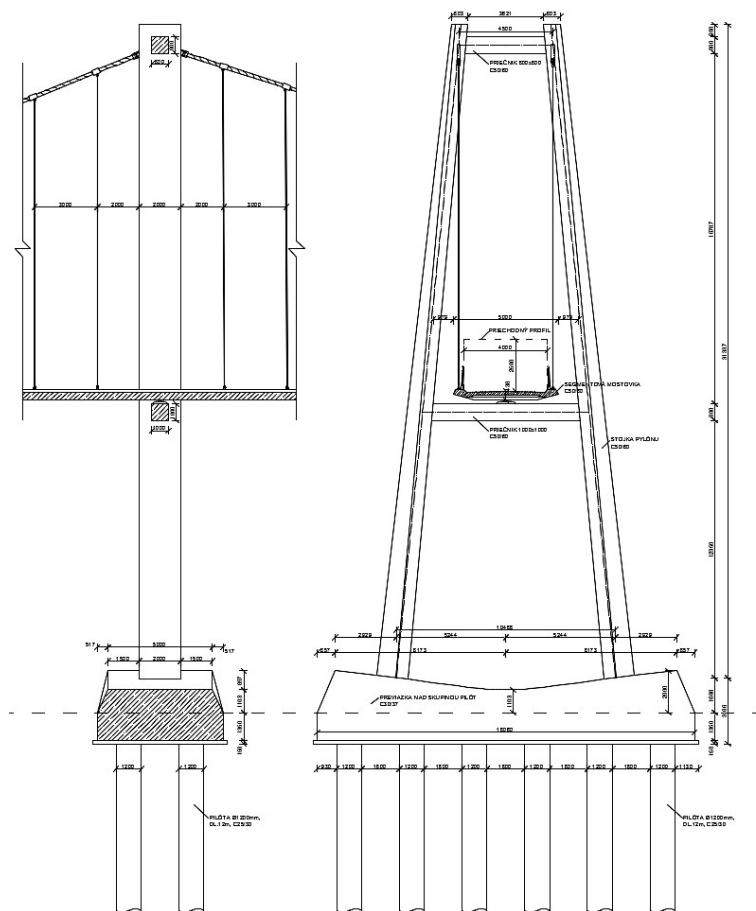
### POZDĽŽNY REZ



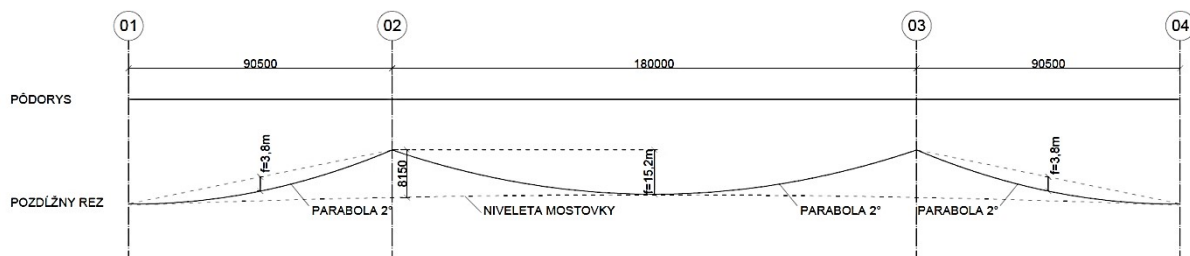
## PÔDORYS



## PRIEČNY REZ V MIESTE PYLÓNU



## GEOMETRIA VISUTÝCH LAN



## OKRAJOVÉ PODMIENKY

Niektoré okrajové podmienky už boli spomenuté a budú v tejto kapitole zopakované v prehľade.

Pylóny sú v päťách votknuté do základových blokov vo všetkých fázach výstavby. Budú postavené pred vynesení a predopnutím visutého lana. Reálny projekt mosta by sa musel zaoberať aj interakciou spodnej stavby s podloží, čo by sa dalo vystihnúť spojením pylónu s previazkou nad skupinou pilót. Piloty by sa podopreli pružinami zohľadňujúcimi reálne charakteristiky okolitej zeminy a posúdila by sa zároveň konštrukcia na vplyv sadania pylónov. Pre časové dôvody a rozsah zadania diplomovej práce, bol tento krok modelu vynechaný a zjednodušil sa na votknutie v päťách pylónov.

Visuté lana sú pevne podoprené vo všetkých smeroch v miestach kotvenia do kotevných blokov na koncoch mosta.

Mostovka je pevne podoprená v miestach opier, s odobratými stupňami voľnosti rotácií v okolo osi  $x$  a  $z$ . Je umožnené natočenie okolo osi  $y$ . Takisto je mostovka podoprená v mieste pylónu v  $y$  a  $z$  smere. V montážnych stavoch jednotlivých segmentov sú jednotlivé segmenty pripojené pomocou klbového pripojenia schopného prenášať normálovú silu a reakcie od vlastnej tiaže segmentov do závesov. Tieto klbové spojenia zaručujú uvoľnenie momentového zaťaženia na koncoch nosníkov.

## **NELINEÁRNY VÝPOČET**

Po vytvorení elementov všetkých častí modelu mosta bol prevedený nelineárny výpočet. Výpočet spočíval v obrátení fázovanej výstavby pospiatku. Tento postup má za následok, že môžeme vychádzať z východzieho stavu, kde je vyrovnaná vlastná tiaž a ostatné stále zaťaženie. Vytvorením fáz, kde sa objavia klbové spojenia a jednotlivé uberania segmentov, je možné dojsť k počiatočnej geometrii počas výstavby. Po prevedení nelineárneho výpočtu a vyrovnaní všetkých častí mostovky pre stále zaťaženia, je možné ďalej posudzovať prvky mostovky na základe lineárneho výpočtu.

## **LINEÁRNY VÝPOČET**

Následne po prevedení nelineárneho výpočtu, môžeme pristúpiť k lineárnemu. Pre tento výpočet, môžeme superponovať jednotlivé zaťažovacie stavy, ktoré budú zahŕňať i vplyv klimatických zaťažení a premenného zaťaženia od chodcov. Zaťaženie chodcami sa vyvodzuje v niekoľkých zaťažovacích stavoch pre vyvodenie extrémnych účinkov pre niekoľko významných rezov na lávke. Následne budú tieto zaťažovacie stavy zohľadnené do kombinácií podľa normového kľúča kombinácie.

## 7. POSÚDENIE KONŠTRUKCIE

Posudky lávky boli počítané podľa metódy medzných stavov. Z výsledkov vnútorných síl od jednotlivých kombinácií sú vybrané tie najextrémnejšie zo všetkých fáz výstavby a všetkých kombinácií a na tieto účinky sú jednotlivé prvky nadimenzované.

### MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI

Mostovka bola pre medzný stav únosnosti posudzovaná pri krajnej opere, v krajnom poli, v miestach pylónu a v strednom poli. Predpäté prierezy vyhoveli vo všetkých týchto miestach na ohyb i šmyk. Betonárska výstuž bola pridaná pre potreby splnenia konštrukčných zásad.

Visuté laná a závesy boli najviac namáhané v oblasti pylónov. Posudky na ťah boli vo všetkých prípadoch vyhovujúce.

Ďalším posudzovaným prvkom bol pylón. Keďže je pylón namáhaný kombináciou normálovej sily a ohybového momentu, bol medzný stav posudzovaný pomocou interakčných diagramov v niekoľkých rezoch pylónu vzhľadom na jeho premenlivý prierez ako i zakrivenú strednicu. Nadimenzovaná výstuž vyhovela a spĺňa i konštrukčné zásady. Pri posudkoch pylónu boli prevedené aj posudky pre priečne nosníky spájajúce hlavu a stred pylónu. Na účinky vnútorných síl bola nadimenzovaná výstuž spĺňajúca i konštrukčné zásady.

### MEDZNÝ STAV POUŽÍVATEĽNOSTI

Z medzných stavov použiteľnosti bolo kontrolované obmedzenie napätí vo všetkých fázach výstavby pre charakteristickú i kvázistálu kombináciu.

Obmedzujúca podmienka pre charakteristickú kombináciu  $|\sigma_c| \leq 0,6 \cdot f_{ck}$

Obmedzujúca podmienka pre kvázistálu kombináciu  $|\sigma_c| \leq 0,45 \cdot f_{ck}$

Segmenty pre všetky tieto podmienky vyhoveli vo všetkých fázach i posudzovaných rezoch. Kontrola ťahaných vlákien pre jednotlivé rezy predpokladá maximálne ťahové napätie na hodnote  $f_{ctm}$ .

Posudok pre priehyb nebol obmedzený, keďže norma žiadny neudáva pre lávky pre chodcov. Pre stále zložky je lávka vo východzom stave a nachádza sa v požadovanej geometrii.

## **8. VÝPOČTOVÝ MODEL V PRIEČNOM SMERE**

Pre tvorbu modelu priečneho smeru bol zvolený doskostenový model. Pomocou 2D prvkov bolo vymodelovaných 6 priľahlých segmentov, čo činí 18m dĺžky. V miestach uchytenia segmentov závesmi bola mostovka podoprená vo zvislom smere a bolo aplikované zaťaženie.

## **9. POSÚDENIE V PRIEČNOM SMERE**

Posúdenie na medzný stav únosnosti v priečnom smere prebehlo najskôr na namáhanie ohybovým momentom. Bola navrhnutá priečna výstuž vyhovujúca i konštrukčným zásadám a únosnosť takto vystuženého prierezu bola porovnaná s pôsobiacou silou z extrémnej kombinácie. Ako druhý posudok bola mostovka posúdená na šmyk, s vyhovujúcim návrhom šmykových strmienkov podľa konštrukčných zásad.

## **10. DYNAMICKÁ ANALÝZA KONŠTRUKCIE**

V rámci výpočtového modelu v programe Midas civil bola prevedená taktiež dynamická analýza pre zistenie požadovaných hodnôt k posúdeniu lávky pre chodcov na dynamiku. Modálnym výpočtom bolo zistených prvých 20 vlastných frekvencií. Na základe najväčších hodnôt posunutia uzlov mostovky vyvedených kmitaním, boli vybrané 4 najkritickejšie uzly v každej z týchto frekvencií. Poloha prvého z nich je približne v polovici rozpätia krajného poľa. Ďalšie tri uzly sa nachádzajú približne v dvoch tretinách prvého poľa, štvrtine a polovici rozpätia stredného poľa.

V každom z týchto štyroch uzlov bola postupne sledovaná harmonická odozva. To zahŕňalo dosadenie budiacej sily do každého z uzlov a následného výpočtu maximálneho zrýchlenia, ktoré bolo porovnané s limitnou hodnotou. Lávka na dynamické účinky vyhovela.

## **11. ZÁVER**

Navrhnutý variant lávky pre chodcov bol navrhnutý a posúdený podľa platných noriem a v oboch medzných stavoch. Všetky riešené časti nosnej konštrukcie týmto požiadavkám vyhoveľi. Výpočet lávky zohľadňoval účinky na konštrukciu od fázovanej výstavby, finálneho pôsobenia ako i dynamických účinkov. Správnosť výsledkov zo softvéru bola overená na dielčích výsledkoch v statickom posudku pomocou jednoduchých ručných prepočtov.

Statický výpočet a prehľadné výkresy sú súčasťou príloh. Medzi ďalšie priložené súbory patrí vizualizácia celého mostného objektu ako i schéma stavebného postupu v niekoľkých krokoch.

## 12. ZDROJE

### Normy

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.

### Literatura

NAVRÁTIL, J. *Prestressed Concrete Structures*. VŠB Technical University of Ostrava. Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3625-6

STRÁSKÝ, J. *Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges*. London: Thomas Telford Publishing, 2005. ISBN 0 7277 3282 X

Schlaich, M. , Brownlie, K. , Conzett, J. , Sobrino, J. , Stráský, J. , Takenouchi, K. *B32 Guidelines for the design of footbridges*. Sprint-Digital-Druck, Stuttgart: 2005. ISBN 978-2-88394-072-7